

Comité National Français des Sciences Hydrologiques  
Assemblée Générale Extraordinaire.  
Grenoble 29 Mai 1990

**Des concepts et outils en hydrologie**

compte rendu sommaire du  
Séminaire du 18 janvier 1990  
tenu à l'Ecole des Mines de Paris

**G. de Marsily et J.P. Carbonnel**

**Objectifs et rappels**

Dans les faits, l'hydrologie française se porte plutôt bien. A l'ORSTOM, la création en 1987 du Département des Eaux Continentales associant, sur des programmes pluridisciplinaires communs, des hydrologues, des pédologues, des géologues et des biologistes marque un départ nouveau, dans un cadre désormais plus orienté vers la recherche. Au CEMAGREF dont les activités sont aussi de plus en plus orientées vers le fondamental, la pérennisation des opérations de Bassins Versants Représentatifs Expérimentaux, le démarrage d'une opération internationale, FREIND, les recrutements, marquent une volonté de développement. Au BRGM, le département EAU prospère dans la déconfiture générale de la Géologie. A l'Université, fonctionne, depuis cinq ans, une formation nationale de 3ème cycle en store hydrologie, qui forme plus de 50 hydrologues par an et qui vient de se fédérer au programme européen de coopération interuniversitaire en hydrologie d'ERASMUS. D'autres formations prospèrent, à Strasbourg, à Grenoble ou Toulouse. Au CNRS, un programme "Eaux Continentales" fonctionne au PIREN, des chercheurs sont, malgré tout, de temps en temps recrutés, des ATP ou Programmes tels que PIRAT ou DBT sont lancés. Dans les services de l'Etat, les données et la connaissance des systèmes hydrologiques progressent tandis que s'améliore, bon an mal'an, la qualité de l'eau. Sur fond de sécheresse et de pollution, s'élabore une nouvelle loi sur l'eau destinée à prendre le relais de celle de 1964. Dans les entreprises, la perspective annoncée du doublement du prix de l'eau réjouit certains tandis que dans les média l'eau est devenue la préoccupation majeure après le sport mais avant la politique !!...

Pourtant les hydrologues se lamentent, s'interrogent, se délectent à douter d'eux mêmes et de leur discipline. Alors

que la tâche est immense, que les besoins de comprendre, de modéliser, de prévoir - effet de serre en mémoire - et les besoins en eau tout court, qualité et quantité, sont sans cesse croissants, les fantassins de l'hydrologie s'arrêtent, l'arme au pied, et languissent !..

Conscient de ces problèmes, le CNFSH décidait d'organiser, en janvier 1990, un séminaire sur "l'hydrologie en questions : des concepts et outils en hydrologie" qui était décomposé en cinq thèmes ainsi qu'ils sont présentés dans le programme ci joint(annexe). 54 personnes participèrent à cette journée de réflexion .

Parallèlement, le Ministère de l'Environnement et celui de la Recherche confiaient conjointement à P.DUBREUIL une mission d'évaluation du potentiel français en matière "d'ingènièrie et de recherche en hydrologie quantitative opérationnelle, appliquée et fondamentale", en lui demandant de proposer toute mesure apte à redynamiser la communauté alanguie des hydrologues . Ce rapport d'évaluation sera, nous l'espérons, diffusé prochainement .

Dans le présent compte rendu, nous tenterons de dégager les principaux thèmes qui ont fait l'objet de discussions lors de la journée du 18 Janvier, les textes préparatoires présentés par les orateurs étant joints en annexe.

Nous introduisons le débat en tentant de rechercher les causes profondes du "doute hydrologique" dans une vue toute personnelle, puis nous concluerons en donnant, là aussi de façon toute personnelle, des "ordres de marche hydrologique" pour reprendre la lutte .

## LE DOUTE HYDROLOGIQUE

Il faut d'abord dire que ce "doute" n'est pas spécifique à la communauté hydrologique française et qu'il s'est exprimé largement dans les revues internationales, par exemple sous les plumes de Klemec et de Beven. Ces articles provocants ont d'ailleurs suscité des réactions en France, de BOCQUILLON et de MONIOD par exemple, qui n'ont, hélas, circulé que sous forme de samzidat .

Il faut dire que le "doute" atteint de plein fouet plus les hydrologues de surface que ceux travaillant sur le milieu souterrain, plus protégés et mieux armés, peut être, pour se défendre .

Les "racines" du doute peuvent être schématisées ainsi :  
1.- En hydrologie continentale, les processus physiques qui conduisent des précipitations aux débits et charges véhiculées jusqu'aux océans, sont simples et connus dans leurs principes :

- Changement de phase en fonction des effets thermiques du rayonnement solaire et de la circulation atmosphérique;

- Déplacement le long du géoïde terrestre par la conservation de la masse et de la quantité de mouvement ;

- Acquisition d'une charge dissoute ou solide en fonction du gradient de potentiel chimique , solution-milieu traversé, ou de l'énergie cinétique du fluide .

Chacun de ces processus est connu et peut faire l'objet de vérification, mise en équation et mesure de constantes thermodynamiques en laboratoire. La science "dure" est donc faite et connue.

2.- L'application directe de ces beaux principes sur la surface du géoïde terrestre est rigoureusement impossible du fait de l'extraordinaire hétérogénéité du sol, de la végétation... et de l'instabilité permanente des processus météorologiques.

3.- En hydraulique souterraine, un déterminisme plus simple a permis une percée spectaculaire que l'on appelle "l'émergence". Elle a permis, en fait, deux transferts d'échelle successifs :

(i) l'émergence de la loi de Darcy à partir des lois de Navier-Stokes ; de la conservation de la masse et de la quantité de mouvement à l'échelle du pore, émerge une loi asymptotique pour un grand nombre de pores, la loi de Darcy, dont on sait, de plus, déterminer en laboratoire ou sur le terrain directement, les coefficients, sans passer par l'échelle inférieure;

(ii) cette perméabilité de Darcy étant variable dans l'espace quand on passe à l'échelle supérieure de l'aquifère entier, on a su aussi développer une seconde émergence qui, à partir des lois de distribution statistique et covariance spatiale de la perméabilité, sait estimer la perméabilité moyenne à l'échelle supérieure ( techniques géostatistiques d'estimation des moyennes par maille ou moyenne géométrique globale, etc...).

4.- En hydrologie superficielle, il n'existe pas et ne peut exister a priori rien de tel, le "cheminement" le long duquel pourrait éventuellement se faire une émergence, est toujours un cas particulier de morphologie/nature du sol/végétation/urbanisation, et de plus la "longueur" de ce cheminement dans un milieu donné (avant de passer dans un milieu aval différent) est, en général, trop faible pour qu'il puisse y avoir émergence.

5.- L'hydrologue est donc contraint d'accumuler et de décrire des cas particuliers, chacun étudiable, quantifiable et même modélisable sur une base adhoc, et pour lequel il ne peut apparaître une "émergence d'ensemble" (c'est à dire une loi unique moyenne par superposition des lois de plusieurs

bassins), puisque ,par définition, chaque bassin est différent de son voisin .

6.- Relisant Lord RUTHERFORD, et comprenant qu'il n'existe que deux sortes de science, la physique et puis la collection de timbres, l'hydrologue se sent rejeté dans la seconde catégorie, celle des naturalistes, et le doute métaphysique s'installe. Dans les commissions de mécanique du CNRS, cette activité est vivement prise à partie par les "fondamentalistes". Dans les commissions des sciences de la terre du même CNRS où dominent les collectionneurs, bien que certains tentent de s'affubler des apparences de la physique à grand renfort d'appareils le plus coûteux possible, cette quête de l'émergence est mal perçue également et les hydrologues sont considérés comme des "applicateurs" .

7.- Il existe cependant de très nombreuses approches de l'hydrologie, opérationnelles pour beaucoup, porteuses d'espoir pour d'autres, qui ont permis d'apporter des réponses aux problèmes de l'aménagement hydraulique, de la prévision hydrologique, d'une part, et de la compréhension des mécanismes, de l'autre .

Elles ont été regroupées en cinq thèmes présentés dans les annexes :

- approche statistique
- " déterministe
- " systémique
- " de spatialisation
- " par la mesure et

l'expérimentation

Nous invitons le lecteur à étudier ces contributions . Nous avons résumé également à la fin de ces annexes les principales questions qui ont fait l'objet d'une discussion orale au cours de la journée .

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1.- La relative prospérité de l'hydrologie en France tient à son succès dans l'opérationnel. Nous avons su prévoir l'ordre de grandeur des crues et étiages, endiguer ou barrer les cours d'eaux, prévoir les quantités et capter les ressources. Il ne fait pas de doute que, à tout problème concret nouveau, nous avons ou développons les outils ou expériences nécessaires pour le résoudre.

Nous sommes imbriqués dans la vie active, il faut s'en féliciter et s'en réjouir même si c'est passé de mode . Il faut aussi être honnête avec nous mêmes : si, aujourd'hui nous sommes ensemble, entre hydrologues, c'est que nous avons, un jour ou l'autre, choisi cette carrière, et nous

l'avons choisie parce que nous la sentions appliquée et utile à tous .

S'il nous faut aujourd'hui, par moment, subir le mépris de ceux qui ont choisi une carrière qu'ils considèrent comme plus fondamentale et donc plus noble, nous croyions que nous pouvons le leur rendre tout aussi cordialement au regard de considérations de type investissement/rendement/utilité.

2.- L'émergence hydrologique universelle n'existe pas . Il nous faut donc vivre sans, et nous contenter d'émergences approximatives, partielles, locales; chacune de ces émergences est caractérisée par une échelle de temps, d'espace, de climat. Elle porte le nom de changement d'échelle, de transposabilité, de stationnarité. Il nous faut travailler sur chacune de ces émergences, sur sa dépendance aux caractéristiques locales que l'explosion des méthodes de mesure (télédétection, MNT, capteurs continus de toute sorte..) nous permet d'atteindre. Il faut nous réjouir de cette complexité qu'annonce le foisonnement des mesures.

3.- Les outils de l'hydrologue sont multiples, complémentaires. La multiplicité des concepts ne fait que traduire la nature différente des émergences locales ou partielles auxquelles nous pouvons atteindre. Il faut persévérer dans cette diversité et au contraire rechercher si des outils et concepts nouveaux, comme les réseaux de neurones, les attracteurs étranges, les dimensions fractales, l'intelligence artificielle, pour n'en citer que quelques uns, sont susceptibles, ici ou là, d'apporter une nouvelle émergence partielle ou locale. L'hydrologue doit se faire, sans complexe, prédateur des outils des autres .

4.- Il n'y a pas de raison de douter. Il faut oeuvrer, mesurer, modéliser. Mais pour avancer, il faut comparer nos approches, reconnaître celles qui sont avantageuses, confronter nos expériences. Nous serons une discipline scientifiquement prospère si nous savons dialoguer et nous enrichir des expériences des autres. Bien que ceci s'applique à toutes les disciplines, c'est particulièrement important pour l'hydrologie, puisque c'est de la confrontation des expériences locales que peut être recherchée l'émergence des lois d'ensemble.

Nous invitons donc le CNFSH et son Président à renforcer les liaisons et échanges entre toutes les équipes françaises et européennes d'hydrologie et à faire connaître à l'extérieur nos résultats .

Mai 1990

## Annexe

**Liste des questions débattues pendant les discussions**

- Les quatre principaux domaines de l'hydrologie abordés au cours du séminaire - déterministe, statistique, systémique, spatialisation - apparaissent comme quatre facettes d'un même objet scientifique : le cycle de l'eau . Ces différentes facettes apparaissent aussi bien comme outils que comme concepts.

- Suivant le but recherché (finalité) le travail hydrologique privilégiera soit l'un soit l'autre . L'hydrologie balance entre les deux en grande partie à cause de la très forte demande sociale et économique à laquelle elle se doit de répondre.

- Doit-on, pour cela, séparer une hydrologie "opérationnelle" d'une hydrologie "fondamentale" ? Y-a-t-il antagonisme entre les deux ? Ou bien un mouvement permanent de l'un à l'autre est-il une nécessité qu'il faut cultiver pour faire avancer et concepts et outils?

- Le domaine de l'hydrologie - sciences du cycle de l'eau - n'est peut-être pas aussi bien circonscrit qu'il paraît. Des contacts avec d'autres disciplines sont nécessaires, l'hydraulique, la chimie, la biologie... Plus ces contacts sont importants, plus l'hydrologie se rapproche du concept globalisant d'ENVIRONNEMENT. Et, dans ce cas, une approche plus systémique ou structuraliste (au sens de Piaget) semble nécessaire. On passe ainsi d'une démarche très déterministe (lien de causalité direct) à une démarche d'étude des systèmes complexes dans laquelle il n'y a que des rapports de probabilités et liens structuraux qui charpentent les modèles.

- L'utilisation d'une démarche ou d'une autre dépend souvent des objectifs qu'on s'est fixés, des moyens dont on dispose et des "modes" successives du milieu auquel on appartient.

- Dans le cadre d'une hydrologie opérationnelle, plutôt que de faire le décompte des avantages et inconvénients de telle ou telle méthodologie (modèle), ne serait-il pas plus utile d'en définir les limites en termes

-d'objectifs poursuivis

-de coûts nécessaires(en données par exemple) ?

- Ne faut-il pas enfin décider que l'hydrologie doit s'abstraire de ses impératifs économiques pour n'être plus que connaissance du cycle de l'eau, tentant ainsi à s'élever au niveau des autres sciences des systèmes complexes ( la météorologie pa exemple) ?

- Pour ce faire une remise en cause ou tout du moins une redéfinition des concepts de base de l'hydrologie parait nécessaire . Chacun parait, en effet, posséder ses propres définitions de ces concepts .

-Jusqu'à maintenant les outils, et en particulier les champs de mesures (réseaux, appareillage au sol..) ont été les éléments moteurs de la méthodologie. L'outil prime le concept . Alors qu'une démarche réellement scientifique devrait privilégier le concept pour définir l'outil de mesure.

L'introduction récente des données issues de l'imagerie satellitaire bouleverse quelque peu ce schéma et nous pose les problèmes cruciaux de spatialisation des données, de transfert d'échelle, nous forçant à raisonner à la fois en termes d'espace et de temps. De même, l'évolution climatique récente liée pour partie aux activités anthropiques nous interpelle quant à sa prise en compte dans nos modèles de gestion de la ressource et de prédiction .

nota: La liste ci dessus est loin d'être exhaustive. Elle n'a pour but que de tenter de dégager les lignes de force des discussions de la journée du 18 Janvier 1990 .

J.P. C & G. de M

colloque "des Concepts et des Outils en Hydrologie"  
Paris, 18 janvier 1990

Mesures et Expérimentations en Hydrologie

(thème n° 5)

Discussion : proposition de note de synthèse

Une intéressante discussion a eu lieu autour du thème n° 5, lancée par la note ci-jointe, et par quelques transparents où étaient représenté, en noir, le sens indiqué sur cette note (de l'observation vers les résultats) et, en rouge, le sens inverse partant de "demandes" de résultats, ou de concepts et modèles a priori (hypothèses) et allant jusqu'à la définition de l'expérimentation ou mesure nécessaire

Les participants ont résumé cela sous une image littéraire, le "Rouge et le Noir" de Stendhal, mais ceci est évidemment sans intérêt pour le lecteur non participant au colloque. Nous proposons donc de résumer la discussion de ce thème n° 5 sous la forme suivante, plus explicite, et à lire en complément à la note de présentation du thème.

La démarche ORIGINELLE de l'Hydrologie, qui est toujours majoritaire actuellement, est orientée d'abord de  
l'OBSERVATION A PRIORI  
vers la MODELISATION A POSTERIORI.

Il semble que, tout au moins pour certaines recherches et dans certains contextes relativement développés en Hydrologie, il soit nécessaire d'inverser cette démarche pour se rapprocher de celle des sciences dites dures, allant de  
la MODELISATION A PRIORI  
(création de concepts, puis théories, puis modèles)  
vers l'EXPERIMENTATION A POSTERIORI, de VALIDATION  
(observations)

Cette démarche inverse "rouge" serait tout particulièrement nécessaire en BVRE (Bassin Versant Représentatif et Expérimental).

Elle est cohérente avec le besoin, délimité dans d'autres thèmes de ce Colloque, de créer de nouveaux concepts en Hydrologie, en particulier parce que les considérables effets d'échelles, ainsi que la grande variabilité des conditions du cycle de l'eau (sans oublier celle des besoins), autorisent rarement un concept (et a fortiori un modèle) à présenter une large plage de validité.



colloque "des Concepts et Outils en Hydrologie"

Paris, 18 janvier 1990

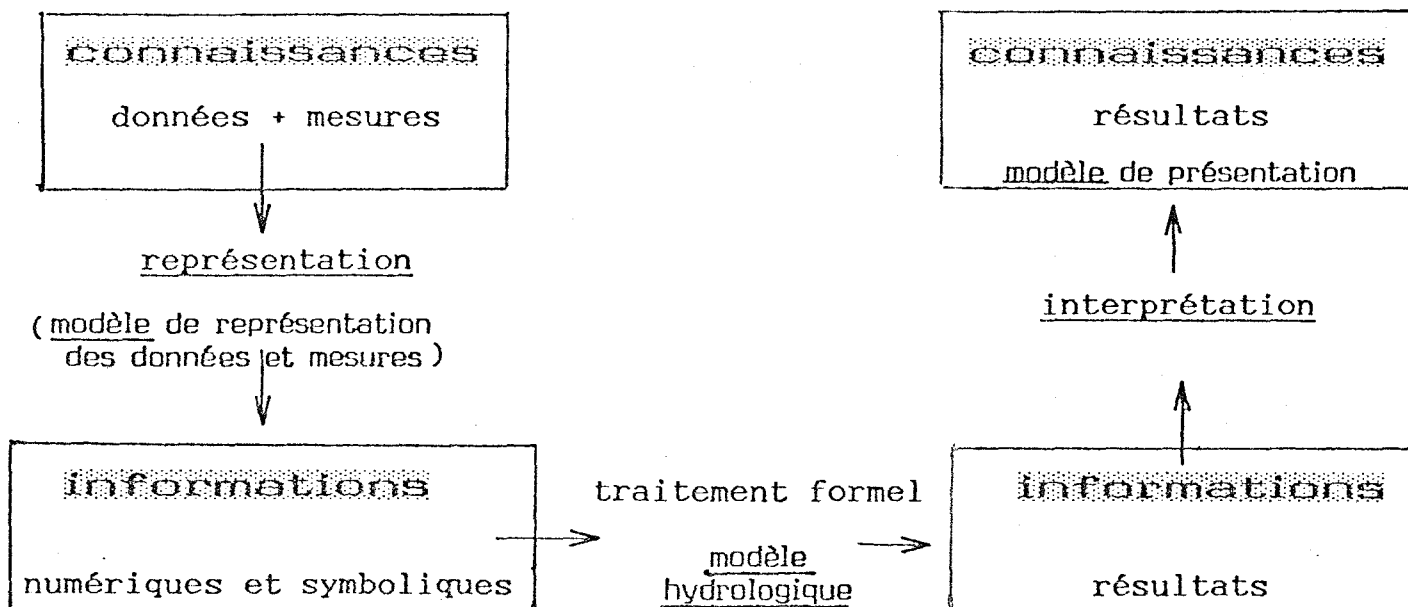
Mesures et Expérimentations en Hydrologie

(thème n° 5)

L'Hydrologie est-elle une science ?

Théorie et (puis ?) expérimentation sont au coeur de l'espitémologie. En Hydrologie, ce couple est plus connu sous les termes "Modélisation et observation", à moins que cela ne soit ... "Observation et modélisation" ? Si on emploie le "et", il n'y a pas de nuance de sens entre les deux ... sens. Mais si on emploie le "puis" ..., cela peut être lourd de signification.

On peut résumer le processus de modélisation en Hydrologie par le schéma suivant :



Dans ce schéma, il peut apparaître que la modélisation est complètement dirigée par les données et mesures disponibles. Peut-on en conclure que la bonne exploitation, voire la simple accumulation, de données et mesures permettrait d'en déduire la structure des modèles ?

Si tel était le cas, l'Hydrologie ne serait pas une science, dans le sens admis jusqu'à présent (Claude Bernard). Le même jugement serait applicable à la majorité des "sciences" dites naturelles et humaines.

Si, au contraire, on peut affirmer qu'un modèle hydrologique (accessoirement un modèle annexe de représentation des données et mesures, ou un modèle de présentation des résultats) relève d'une théorie explicative de nature inductive, hypothétique et conjecturale, alors le jugement est différent.

Dans ce cas, les données et mesures réalisées devraient ressortir d'un plan d'expérience, avoir une fonction de calage, puis de validation, et servir à déterminer les limites de validité.

Alors l'Hydrologie serait bien une science, dans le sens admis jusqu'à présent.

Laquelle des deux présentations est la plus vraie ?

Evolue-t'on aujourd'hui de l'une vers l'autre ?

Les auteurs de ces quelques questions pensent que la seconde présentation est présente en Hydrologie, mais handicapée par le fossé actuel entre les réseaux de mesures (et les protocoles de récolte des autres données) et de vrais plans d'expérience. Il en résulte, entre autres, que l'opération absolument fondamentale de validation des modèles est au mieux une "estimation de pertinence", au pire inextricablement confondue avec l'opération de calage.

Ceci peut expliquer la tendance, souvent involontaire, de l'Hydrologie à dériver vers la première présentation. Il faut y prendre garde !

Mais est-ce à la portée des hydrologues de tirer leur science vers la seconde présentation ?

Qui aura le pouvoir (économique, entre autres) de gérer les réseaux d'observations comme des plans d'expérience ?

La multiplication des conditions aux limites, quand on décrit la pluie et l'écoulement selon les lois de la mécanique des fluides, ne renvoie-t'elle pas inévitablement au descriptif naturaliste, c'est à dire à la première présentation, neutralisant par là même l'effort mécaniste qui visait un niveau de "science dure" ?

etc...

P. Givone, G. Oberlin

Cemagref Lyon

LISTE DES PARTICIPANTS AU SEMINAIRE DU 18 JANVIER 1990-ECOLE DES MINES:

" Des concepts et outils en hydrologie"

AMBROISE Bruno	CEREG, Univ. Strasbourg	88 35 82 26
BEDIOT Guy	Ag.Bassin"Seine Normandie"	47 76 44 24
BOIS Philippe	Ecole Hydraulique Grenoble	76 82 50 54
BOURGES Jacques	ORSTOM(Montpellier-Bolivie)	67 61 74 00
BUJON Gérard	Ag.Bassin"Seine-Normandie"	47 76 44 24
CARBONNEL Jean-Pierre	CNRS-Géologie Appliquée.UPMC	43 36 25 25(6326)
CASTANY Gilbert	CNFSH-AIH	47 02 49 45
COSANDEY Claude	CNRS Géographie Meudon	45 34 75 50
DACHARRY Monique	Univ. Lille	
DAVY Lucette	Univ. Montpellier III	
DOSSEUR Hubert	EDF Direct.Equipement	47 64 76 13
DRAY Martial	Univ. Avignon	90 85 24 71
DUBAND Daniel	D.T.G./E.D.F	76 48 87 80
DUBREUIL Pierre	ORSTOM c/o CIRAD Paris	47 04 32 15
DUPLEX Jean	EDF-LNH Chatou	30 71 70 56
EKWELGEN Charles	DEA Hydrologie1989-90	
ESTEVEs Michel	ORSTOM Montpellier	67 61 75 22
FOUERE Pascale	DEA Hydrologie 1989-90	
FOURNIER Thierry	EDF-DTG Grenoble	76 48 89 09
FRITSCH Jean-Marie	ORSTOM Montpellier	67 61 75 01
GALLE Sylvie	CEMAGREF Hydrologie	40 96 61 21
GOUBET André	Ingénieur Gén.	45 56 46 93
GOULA BI TIE Albert	DEA Hydrologie	
GUIGO Maryse	LAMA Géographie Grenoble	76 87 46 43
GUILLOT Pierre	Ing.conseil Grenoble	76 09 26 29
HUBERT Pierre	E.M.P. C.I.G	64 22 48 21
JACQUET Joseph	retraité EDF	45 22 75 72
JOVY Véronique	Ag.Bassin "Seine Normandie"	47 76 44 24
LABORDE Jean Pierre	Univ.Nice Sophia Antipolis	93 37 53 59
LAMBERT Roger	UFR Géographie Toulouse Mirail	61 81 79 99
LEVIANDIER Thierry	CEMAGREF Antony	40 96 60 52

MAIRE Gerard	CEREG Univ./CNRS Strasbourg	88 35 82 46
MARAND Colette	Univ. Nancy II	29 39 18 46
MARSILY Ghislain de	Géologie Appliquée UPMC Paris	43 36 25 25(63 27)
MEUNIER Maurice	CEMAGREF Grenoble	76 76 27 68
MONIOD Frédéric	ORSTOM Montpellier	
MOUSSA ROGER	L.H.M. Univ.Montpellier II	67 63 33 39
NORMAND Michel	CEMAGREFHydrologie Antony	40 96 60 54
OBERLIN Guy	CEMAGREF Lyon	78 83 49 48
OTTLE Catherine	CNET/CRPE Issy/les Mx	45 29 48 25
PARSY Claude	Déleg.Loire Bretagne SRAE Pays Loire	40 47 39 05
PERON Soizic	E.D.F - LNH Chatou	30 71 74 57
POUYAUD Bernard	ORSTOM Montpelleir-Paris67 61 75 31 ou	48 03 76 57
RIBSTEIN Pierre	ORSTOM Montpellier	67 61 75 32
ROCHE Marcel	CNFSH	42 06 93 85
RODIER JEAN	retraité ORSTOM	51 90 01 46
RODRIGUEZ J. Yves	EDF - DTG Grenoble	76 48 88 00
ROUSSEL Martine	CEMAGREF Nivologie Grenoble	76 76 27 18
SIRCOULON Jacques	ORSTOM Paris	48 03 76 77
SOLER Edmonde	CNRS/Géol.Appliquée UPMC Paris	43 36 25 25(50 17)
THIERY Dominique	B.R.G.M.	38 64 34 37
VIOLETTE Sophie	DEA Hydrologie 1989-90	
VIVIAN Huguette	LAMA Géographie Grenoble	76 87 46 43
ZUMSTEIN J.F.	Agence Rhin-Meuse	87 60 48 88